

亚热带植物科学 2007,36(1):36-38.
Subtropical Plant Science

干旱胁迫对 4 种植物蒸腾特性的影响

郑本暖¹, 叶功富^{2,3}, 卢昌义³

(1.福建省水土保持试验站, 福建 福州 350003; 2.福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012; 3.厦门大学 海洋与环境学院, 福建 厦门 361005)

摘 要: 在温室条件下研究类芦等 4 种植物在干旱胁迫下的蒸腾特性。结果表明, 在正常供水情况下, 4 种植物蒸腾速率和气孔阻力日变化规律明显; 在干旱胁迫下, 气孔阻力增大, 蒸腾速率逐步降低, 当水势下降到临界值时, 气孔关闭, 气孔阻力急剧增大, 蒸腾速率降至最低。4 种植物中, 类芦的水分利用效率最高, 其次为百喜草和香根草, 五节芒最低。4 种植物的抗旱力以类芦最强, 百喜草和香根草其次, 五节芒最弱。

关键词: 类芦; 干旱胁迫; 蒸腾速率; 气孔阻力

中图分类号: Q945.17⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1009-7791(2007)01-0036-03

Effect of Drought Stress on the Characteristics of Transpiration of 4 Plants

ZHENG Ben-nuan¹, YE Gong-fu^{2,3}, LU Chang-yi³

(1.Fujian Soil and Water Conservation Experimental Station, Fuzhou 350003, Fujian China; 2.Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian China; 3.College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian China)

Abstract: Based on the condition controlling in the green house, the effect of drought stress on the characteristics of transpiration water consumption of 4 plants were tested. The results showed that 4 species examined had clearly daily variation in transpiration and stomatal resistance. The transpiration rate drop gradually and stomatal resistance increased under the condition of drought stress. When water potential dropped to some critical level, stomatal increased sharply and the transpiration rate decreased to lowest level as stomatal close. *Neyraudia reynaudiana* was of high drought tolerance with high water use efficiency under different water supply, while *Miscanthus floridulus* is of low, and the drought resistance ability of *Paspalum notatum* and *Vetiveria zizanioides* were ranked between the two species.

Key words: *Neyraudia reynaudiana*; water stress; transpiration rate; stomatal resistance

水分是影响植物生长的重要的环境因子, 在限制农作物和林木充分发挥其遗传潜力的各种环境胁迫中, 以水分胁迫最为常见和重要^[1,2]。类芦(*Neyraudia reynaudiana*)是福建省龙岩市林科所和福建省水土保持办公室在石质山地绿化技术开发中发现的优良禾本科植物, 现已在煤垭石山种植成功^[3]。该植物幼苗对水分胁迫特别敏感, 水分不足常严重影响幼苗成活率, 这给南方水蚀荒漠地区的植被恢复带来较大困难。文章研究了类芦等植物在不同供水条件下蒸腾耗水的变化规律, 并探讨其抗旱机制。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、香根草(*Vetiveria zizanioides*)、百喜草(*Paspalum notatum*)和五节芒(*Miscanthus floridulus*)4 种草本植物。

1.2 干旱胁迫试验处理

2004 年 9 月将参试的 4 种草本植物半年生播种苗移入装有混匀砂壤土的钵盆内, 每盆定苗 3 株,

收稿日期: 2007-01-16

作者简介: 郑本暖 (1956-), 男, 福建福州人, 高级农艺师, 从事水土保持生态修复研究。

每种 20 盆,共 80 盆。置于温室中,控制土壤含水量,定量供水以保持盆内土壤水分的一致性。9 月 25 日进行水分胁迫处理,各草种取 10 盆分别进行中度胁迫、强度胁迫处理,另取 10 盆正常供水作对照。水分胁迫划分标准参考 Hsiao 方法^[4]进行,中度胁迫为土壤相对含水量下降 10%~20%,植株部分叶片枯萎;强度胁迫为相对含水量降低 20%以上,植株叶片枯萎。胁迫处理达到预期标准后,各处理取 3 盆复水,观察其恢复程度并采样分析。

1.3 测定方法

采用 Li-1600 稳态气孔计测定蒸腾速率和气孔阻力, Li-6400 便携式光合作用测定仪测定光合速率及相关影响因子。在 10 月下旬一晴天的 7:00~19:00,每 2h 测定一次,每次 2 个重复,取平均值。重量法测定土壤含水量,通过土壤水分特征曲线查定土壤水势,压力室法测定叶水势^[5]。

2 结果与分析

2.1 不同供水条件植物蒸腾速率的变化

在供水良好或干旱情况下,草本植物的蒸腾作用都呈现明显的日变化规律。在正常供水条件下(图 1),植物的蒸腾速率最大值出现在光照最强、温度最高及相对湿度最低的午后 13:00~15:00。4 种植物中,五节芒的蒸腾速率最高,香根草、百喜草次之,类芦最低。

当受到干旱胁迫时(图 2),4 种植物的蒸腾速率均有较大幅度降低,但日变幅较小,最大值提前于上午 11 时出现,以后蒸腾作用便开始减弱,午后 15~17 时降至最低点,17 时后又稍有回升。4 种植物的蒸腾强度仍以五节芒最高,香根草居中,百喜草多数时间较类芦高。由此表明,五节芒的蒸腾作用较强,即同等条件下水分消耗较大,而其它 3 种植物的蒸腾作用较弱,水分消耗略低。由图 2 可知,尽管 4 种植物幼苗的蒸腾强度在干旱胁迫条件下呈下降态势,但蒸腾速率并未降至零,表明此时叶片的气孔并未完全关闭^[6]。

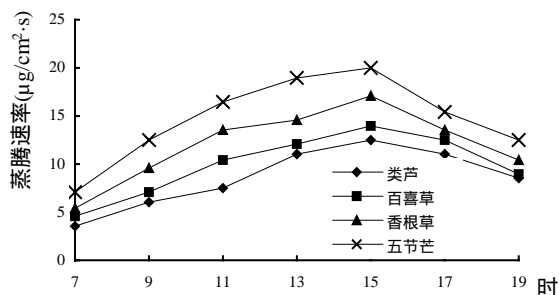


图1 正常供水条件下4种植物蒸腾速率日变化

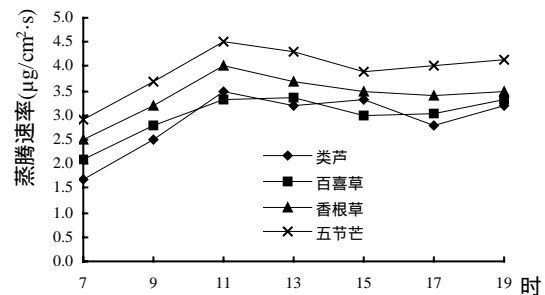


图2 干旱胁迫条件下4种植物蒸腾速率日变化

2.2 不同供水条件下植物的气孔调节

在供水良好的条件下(图 3),4 种植物气孔阻力的日变化呈“凹”型。早晨和傍晚由于光照强度较弱,气孔开放较小,气孔阻力增大;而在白天,由于气孔完全开放且供水良好,气孔阻力通常较低。4 种植物的气孔阻力表现为类芦最小(0.6~1.4s/cm),百喜草为 0.8~1.8s/cm,香根草为 1.1~1.9s/cm,而五节芒的气孔阻力最大,达 1.3~2.1s/cm。受干旱胁迫后(图 4),植物的气孔阻力变化呈“凸”型,早晨和傍晚气孔阻力较低,中午前后气孔阻力较高,表明植物受旱后会利用早晚温度低、湿度大的有利条件开放气孔,吸收 CO₂ 进行光合作用,同时又能避免水分过分逸失。通常在上午 9 时以前,气孔阻力较小,为 3.6~9.6s/cm;9 时以后气孔阻力增大,至 13 时前后达到最大值,为 8.1~14.1s/cm,而后开始下降;至 17 时左右稍有回升,接着又不断降低。

2.3 植物蒸腾速率与叶水势的关系

图 5 显示供试植物蒸腾速率随水分胁迫发展而变化的趋势。在供水良好的条件下,植物蒸腾速率较高,气孔阻力较小;当植物受到干旱胁迫时,蒸腾作用因水势下降而逐渐降低,气孔阻力则随水势的下降而提高;植物在轻度干旱胁迫下,蒸腾速率下降幅度最大,而气孔阻力增加较为缓慢,表明气

孔调节并非该时期植物蒸腾速率迅速降低的主要因素^[7]。

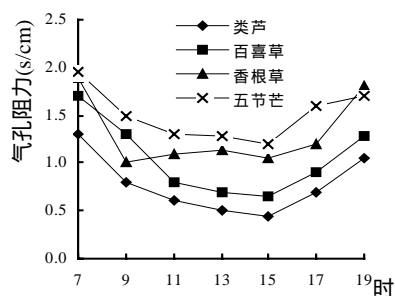


图3 正常供水时气孔阻力日变化

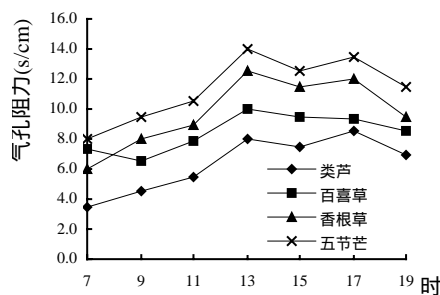


图4 干旱胁迫时气孔阻力日变化

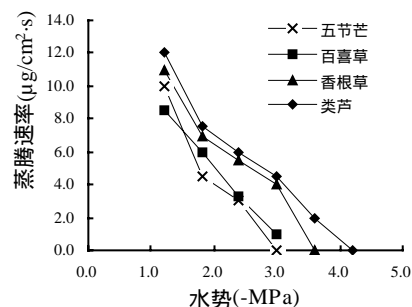


图5 蒸腾速率与叶片水势的关系

随着土壤干旱胁迫的加大，植物蒸腾速率下降幅度减缓，而气孔阻力迅速加大，直至逐渐关闭。当土壤干旱使叶水势降低至某一临界值时，幼苗气孔完全关闭而使气孔阻力急剧增大，蒸腾速率则降至最低水平，此时水势临界值以五节芒为最高，达 - 3.04MPa；百喜草和香根草居次，分别为 - 3.79MPa 和 - 4.38MPa；类芦最低，为 - 4.70MPa。

2.4 不同处理对植物水分利用效率的影响

通常以蒸腾系数即蒸腾速率与净光合速率^[8]的比值，来表示植物对水分的利用效率。蒸腾系数大，表明固定单位重量的 CO_2 所需水分越多，植物的水分利用效率越低。由表 1 看出，在供水良好的条件下，类芦的水分利用效率最高，蒸腾系数为 304；其次为百喜草和香根草，蒸腾系数分别为 338 和 380；五节芒的水分利用效率最低，蒸腾系数为 389。当植物受到干旱胁迫时，水分利用效率均有不同程度提高，如叶水势降至 - 1.2MPa 和 - 1.8MPa 时，香根草的蒸腾系数分别下降 33.7% 和 35.5%。水分利用效率的提高，增强了植物对干旱的耐受能力，有利于提高植物对干旱胁迫的抵御能力。如叶水势降到 - 2.4MPa 和 - 3.0MPa 时，百喜草的蒸腾系数与 - 1.8MPa 比较分别增大 34.8% 和 43.9%。在不同干旱胁迫强度下，4 种植物的水分利用效率仍以类芦最高，其次为百喜草、香根草，五节芒最低。

表 1 干旱胁迫下 4 种植物的水分利用效率($\text{H}_2\text{O}\mu\text{g}/\text{CO}_2\mu\text{g}$)

植 物	叶水势(- MPa)					
	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6
类 芦	304	235	214	284	262	373
百喜草	338	243	230	310	331	-
香根草	380	252	245	328	349	-
五节芒	389	256	250	335	365	-

3 结 论

类芦等 4 种植物的蒸腾速率和气孔阻力呈现明显的日变化规律。在正常供水情况下，蒸腾速率日变化为单峰型，而气孔阻力的日变化呈“凹型”；受到干旱胁迫时，蒸腾速率日变化幅度趋小，其最大值提前于 9~11 时出现，对应的气孔阻力日变化则呈“凸型”趋势。在同等条件下五节芒的蒸腾作用较强，水分消耗较大，而类芦等 3 种植物的蒸腾作用则较小，水分消耗略低。

在干旱胁迫条件下，随着土壤水势的下降，类芦等植物蒸腾速率逐渐降低，气孔阻力则不断增大。当水势下降到某一阈值时气孔关闭，气孔阻力急剧增加，蒸腾速率降至最低水平。气孔完全关闭的水势临界值以五节芒为最高，类芦最低。类芦气孔调节对水势变化较为敏感，因而具有较强的抗旱能力。

类芦在长期适应不良环境的系统发育过程中，表现出较强的抗旱性能。其抗旱性主要表现在两个方面，一是形态学上通过表层气孔和角质层等形态结构的变化来增强抗旱能力；二是通过蒸腾作用等生理过程，使干旱解除后体内各种生理功能迅速恢复正常。

在供水良好的条件下，类芦的水分利用效率最高，其次为百喜草和香根草，五节芒最低。受到干旱胁迫时，植物的水分利用效率均有不同程度的提高，从而增强了植物对干旱的耐受能力。在不同干旱胁迫强度下，4 种植物的水分利用效率以类芦最强，其次为百喜草、香根草，五节芒最低。

综上所述，4 种草本植物中，类芦的抗旱性最强，百喜草和香根草居次，五节芒较弱。

(下转第 42 页)

3 结 论

热研 8 号坚尼草的净光合速率 13:00 达到全天最大值, 没有光合“午休”现象, 为典型“单峰型”曲线; T_r 和 G_s 的日变化与 P_n 的变化趋势一致, 受光照强度的影响。热研 8 号坚尼草的 LSP 在 $1700\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 左右, 最大净光合速率为 $27.4\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, 是典型的阳性植物。同时热研 8 号坚尼草的 LCP 在 $46\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ 左右, AQY 为 0.0535, 具有较强的弱光适应能力。因此, 较高的光饱和点、较低的光补偿点和较大的表观量子效率, 表明热研 8 号坚尼草是一种稍耐荫的阳性植物。热研 8 号坚尼草的 CCP 为 $3.49\mu\text{mol}/\text{mol}$, CSP 为 $600\mu\text{mol}/\text{mol}$, CE 为 0.1168, 对低浓度 CO_2 有较强的同化能力, 表现出典型 C_4 植物的特征。

作为一种耐荫的 C_4 型阳性植物, 热研 8 号坚尼草不但具有较高的光合能力, 而且能忍受干旱和酸性瘠瘠土壤的环境; 其分蘖多, 长势旺盛, 叶量丰富, 适口性好, 可作牛、羊、兔、鸵鸟等的饲料, 是一种优良牧草, 宜在热带和亚热带地区推广种植。

参考文献:

- [1] 刘金祥. 中国南方牧草[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 94-97.
- [2] 韦家少,等. 热研 8 号坚尼草选育及利用研究[J]. 热带作物学报, 2002,23(1): 47-53.
- [3] 韦家少,等. 坚尼草适应性试验研究[J]. 草业科学, 2000,17(5): 2-5.
- [4] 韦家少,等. 4 种坚尼草在海南半干旱地区的产量比较试验[J]. 热带农业科学, 2001,6: 6-7.
- [5] 陈章和,等. 外来植物坚尼草生态学研究[J]. 生态科学, 2001,20(1,2): 37-40.
- [6] 曾昭璇,等. 广东自然地理[M]. 广州: 广东人民出版社, 2001: 116-158.
- [7] 蹇红英,等. 地毯草的光合特性研究[J]. 广西植物, 2003,23(2): 181-184.
- [8] 巨关升,等. 观赏狼尾草光合特性的研究[J]. 核农学报, 2005,19(6): 451-455.
- [9] 温达志,等. 外来入侵杂草薇甘菊及其伴生种基本光合特性的比较[J]. 热带亚热带植物学报, 2000,8(2): 139-146.
- [10] 邱国雄. 植物光合作用的效率[C]. //余淑文. 植物生理学和分子生物学. 北京: 科学出版社, 1992: 236-243.
- [11] 潘瑞炽,等. 植物生理学(第五版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 81-90.
- [12] 林宏伟. 植物光合作用对大气 CO_2 浓度升高的反应[J]. 生态学报, 1998,18(5): 529-538.
- [13] Busey P. Progress and benefits to humanity from breeding warm season grasses for turf[C]//Sleper D A, et al. Breeding forage and turf grass (1st ed). Wisconsin: Crop Science Society of America, 1989: 49-70.
- [14] 许大全. 光合作用气孔限制分析中的一些问题[J]. 植物生理学通讯, 1997,33(4): 241-244.
- [15] Marty J F, et al. Photosynthetic Characteristics of three *Asparagus* cultivars differing in yield[J]. Crop Science, 1999,39: 1 070-1 077.
- [16] 郭志华,等. 鹅掌楸苗期光合特性研究[J]. 生态学报, 1999,19(2): 164-169.

.....
(上接第 38 页)

参考文献:

- [1] Kramer P J. Plant and Water Relationships: A Modern Synthesis[M]. New York: McGraw-Hill, 1983: 296-346.
- [2] Bahari Z A, et al. Photosynthesis, water relations and drought adaptation in six woody species of oak-hickory forests in central Missouri[J]. For Sci., 1985,31(3): 557-569.
- [3] 林夏馨. 福建长汀河田水土流失地区的径流试验及类芦的绿化效果分析[J]. 广东林业科技, 2005,21(1): 6-10.
- [4] Hsiao T C. Plant responses to water stress[J]. Ann Rev Plant Physiol., 1973,24: 519-570.
- [5] 李文华,等. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水和生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2004,32(1): 61-65.
- [6] Jones M M, et al. Mechanism of drought resistance[M]. //Paley L G, et al. The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. Sydney: Academic Press, 1981: 251-267.
- [7] 郑希伟,等. 辽西地区主要造林树种抗旱性的研究[J]. 林业科学, 1990,26(4): 253-258.
- [8] 朱妍,等. 北京六个绿化树种盆栽蒸腾耗水量的比较研究[J]. 北京林业大学学报, 2006,28(1): 65-70.